

Отзыв о диссертации Ольги Геннадиевны Золиной
«Статистическое моделирование экстремальных атмосферных осадков и их роль в
региональном гидрологическом цикле»,
представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук
по специальности 25.00.30 – метеорология, климатология, агрометеорология

Диссертация О.Г. Золиной посвящена всестороннему исследованию статистических закономерностей в экстремальных атмосферных осадках, включая создание соответствующих математических моделей, их верификацию и применение к анализу реальных данных.

Исследование экстремальных или особо сильных осадков имеет принципиальное значение при изучении и описании экстремальных гидрологических явлений, таких, как, например, наводнения, чреватых существенными экономическими и другими потерями, а также при анализе и прогнозировании соответствующих рисков. Математическое моделирование и статистический анализ подобных явлений традиционно являются предметом многих исследований, отраженных в большом числе публикаций. Однако универсальных моделей или устойчивых оценок характеристик экстремальных осадков, учитывающих как их пространственную, так и временную изменчивость, пока нет. Как результат, существующие оценки параметров экстремальных осадков характеризуются сильной неопределенностью, как и прогностические климатические оценки, основанные на сценарных расчетах с помощью климатических моделей. В качестве причин такой неустойчивости и неопределенности можно указать как игнорирование условий адекватности тех или иных традиционных статистических моделей, так и несопоставимость оценок характеристик экстремальных осадков по разным данным. Без достоверных оценок экстремальных осадков также невозможно получить взаимосогласованные характеристики гидрологического цикла для различных регионов. Указанные обстоятельства свидетельствуют об актуальности темы исследования О.Г. Золиной.

Целью рассматриваемой диссертации является построение достоверных количественных оценок характеристик экстремальных осадков на основе развития новых методов их статистического моделирования и установление роли экстремальных осадков в гидрологическом цикле.

Первая глава «Характеристики основных методов наблюдений и массивов данных об атмосферных осадках и анализ их неопределенностей» посвящена критическому анализу основных типов данных, используемых для анализа атмосферных осадков в контексте их пространственно-временного разрешения и их возможностей для адекватного описания закономерностей климатической изменчивости осадков. Особое внимание уделено возможности анализа экстремальных осадков по разным типам данных.

Во второй главе «Развитие новых методов статистического моделирования атмосферных осадков» развиты существующие и разработаны новые методы статистического моделирования осадков и предложены новые подходы к количественному оцениванию экстремальных осадков. Предложены новые вероятностные распределения и разработаны алгоритмы оценки их параметров для статистического моделирования абсолютной и относительной экстремальности осадков, что позволило автору предложить новый индекс относительной экстремальности, который демонстрирует более высокую устойчивость, нежели ранее использованные. Исследованы вероятностные распределения длительностей влажных и сухих периодов.

В третьей главе «Основные закономерности климатического распределения характеристик средних и экстремальных осадков по данным измерений на станциях» демонстрируются приложения развитой методологии статистического моделирования экстремальности осадков для задач получения достоверных климатических характеристик экстремальных величин осадков для различных районов по различным данным. Построены долговременные климатические ряды различных статистик осадков для территории Евразии по различным типам данных.

Четвертая глава «Основные закономерности климатического распределения характеристик средних и экстремальных осадков по различным данным» посвящена анализу проблем сопоставления характеристик осадков по различным типам данных. Здесь разработанная методология анализа характеристик экстремальных осадков используется для оценки возможностей разных реанализов воспроизводить экстремальные осадки. Показано, что реанализы существенно занижают значения абсолютных экстремальных осадков.

В пятой главе «Основные закономерности климатической изменчивости атмосферных осадков» О.Г. Золиной выполнено детальное исследование климатической изменчивости характеристик осадков над континентами и Мировым океаном по различным данным. Для достоверной оценки трендов были развиты методы анализа чувствительности оценок трендов к пропускам в данных, а также методы оценивания статистической значимости трендов. Описана процедура оценки влияния пропусков, основанная на методе Монте-Карло и позволяющая моделировать характеристики пропусков в наблюдениях, сохраняя статистические характеристики исследуемых рядов.

Шестая глава «Связь динамики осадков с атмосферным влагопереносом и испарением» посвящена исследованию роли осадков, включая экстремальные, в региональном атмосферном цикле влаги. Исследован атмосферный цикл влаги для трех регионов – циркумполярной Арктики, Антарктики и Красного моря, где, помимо осадков, большая роль принадлежит также переносам влаги в атмосфере и испарению. Все три региона характеризуются относительно небольшими осадками, однако относительная экстремальность этих осадков может быть очень высокой. Развита методология, позволившая впервые получить согласованные оценки средноклиматических переносов влаги в Арктике и Антарктике и их межгодовой изменчивости за период с 1979 по 2013 гг. на основе всех существующих реанализов и данных атмосферного зондирования IGRA. В этой главе также выполнен детальный анализ роли различных компонент в меридиональном переносе влаги. Определены основные факторы, определяющие транспорт влаги в Арктику в основном осуществляется: синоптические и мезомасштабные вихри.

Основные результаты, представленные в диссертации, являются новыми и заключаются в следующем.

1. Предложены новые вероятностные распределения и разработаны алгоритмы оценки их параметров для статистического моделирования абсолютной и относительной экстремальности осадков, что позволило автору предложить новый индекс относительной экстремальности, существенно более устойчивый, чем ранее использованные;
2. Выполнены оценки абсолютной и относительной экстремальности осадков за последние несколько десятилетий по различным типам данных и получены количественные характеристики сезонной изменчивости абсолютной и относительной экстремальности осадков. Проведено сравнение характеристик экстремальных осадков для различных типов данных, которое показало, что реанализы существенно занижают оценки экстремальных осадков (в среднем на 30-35%), спутниковые данные зимой завышают на 30-50%, а летом сильно занижают (на 40-60%) оценки экстремальных осадков.
3. На основе разработанной методологии оценивания линейных трендов получены оценки межгодовой изменчивости абсолютной и относительной экстремальности осадков по данным стационарных наблюдений, реанализов и спутниковых измерений. Показано, что с 1960 по 2012 гг. на большей части территории Европы и России наблюдается увеличение как абсолютной (до 8% в десятилетие), так и относительной (до 5% в десятилетие) экстремальности осадков. В Центральной Европе обнаружена сильная сезонность трендов на масштабах нескольких десятилетий с увеличением экстремальных осадков зимой и уменьшением их значений летом. Показано, что оценки межгодовой изменчивости по данным реанализов и спутников очень сильно отличаются от оценок по данным наблюдений на станциях, вплоть до различия знаков в трендах для ряда районов.
4. Выполнен анализ статистической структуры осадков над Мировым океаном, включающий рассмотрение числа дней с осадками и интенсивность осадков, по спутниковым данным и реанализам. Установлено, что различия в числе дней с осадками и интенсивности осадков существенно больше, чем в среднем количестве осадков. Показано, что межгодовая изменчивость средних осадков в реанализах сильно зависит от однородности объема и типов ассимилируемых данных.
5. Создан новый подход к статистическому моделированию продолжительности влажных и сухих периодов (включая их совместные распределения) и интенсивности осадков, связанных с периодами разной продолжительности. Этот метод основан на использовании усеченного геометрического распределения и полученного в работе распределения частичного вклада влажных и сухих периодов в общее количество влажных дней.
6. Построены достоверные оценки продолжительности влажных и сухих периодов и исследована их межгодовая динамика. Показано, что увеличение продолжительности влажных периодов за последние 60 лет на евроазиатском континенте (на 4-8% в

десятилетие) связано с увеличением интенсивности экстремальных осадков (на 6-8% в десятилетие), а также что продолжительность влажных и сухих периодов может как одновременно как возрасти, так и уменьшиться. Предложена концептуальная модель совместной изменчивости влажных и сухих периодов.

7. Разработан новый алгоритм расчета адвекции влаги в атмосфере, основанный на численной схеме, учитывающей поверхностную топографию, и позволяющий уверенно разделять переносы влаги на компоненты, связанные со средним потоком, синоптическими вихрями, крупномасштабными горизонтальными и вертикальными ячейками циркуляции.
8. Оценены различные компоненты переноса влаги на основании 7 реанализов и данных аэрологических зондирований IGRA для Арктики и Антарктики. На примере Арктики показано, что транспорт влаги на разных высотах, в основном, осуществляется синоптическими и мезомасштабными вихрями (88-95% общего переноса). Несмотря на уменьшение переноса влаги в Арктику в период 1979-2013 гг., относительная роль вихревого переноса влаги возросла на 15% за последние 36 лет, при этом влагозапас Арктической атмосферы увеличивался на 1.7% в десятилетие (в среднем по всем реанализам). Установлено, что механизм увеличения влагозапаса имел локальную природу, связанную с неадиабатическим испарением, а адвективные процессы играли вторичную роль.
9. Выполнен анализ атмосферного гидрологического цикла и исследована роль потоков в пограничном слое и в свободной тропосфере в динамике влагопереноса на примере Красного моря. Показано, что перенос влаги с акватории Красного моря осуществляется в нижней тропосфере (до уровня 850 гПа) циркуляцией бризового типа, а в слое выше 850 гПа управляется динамикой Аравийского антициклона и его взаимодействием с внутритропической зоной конвергенции. Показано, что с начала 1990-х гг. до 2010 г. происходило резкое увеличение (примерно на 40%) экспорта влаги с акватории моря, что связано с усилением циркуляции бризового типа в приземном слое, в значительной степени модулируемой сигналом в поверхностной температуре воды. Достоверность полученных результатов определяется с помощью современных статистических процедур.

Характеризуя работу в целом, необходимо отметить, что фактически диссертация О.Г. Золиной представляет собой успешную реализацию попытки решения фундаментальной научной проблемы – достоверного количественного описания пространственно-временной структуры характеристик экстремальных осадков и их климатической изменчивости на основе вероятностно-статистического моделирования и исследования роли экстремальных осадков в формировании регионального гидрологического цикла. Несомненным достоинством работы является большой объем разнообразных данных, проанализированных автором. В качестве еще одного достоинства этой работы необходимо отметить ее стимулирующий характер – предложенные и использованные О.Г. Золиной подходы к построению статистических критериев экстремальности осадков в свою очередь уже явились фундаментом для новых постановок вероятностно-статистических задач, связанных с анализом аномально экстремальных осадков, и разработкой новых, еще более адекватных моделей.

При выполнении столь фундаментальной работы, связанной с использованием разнообразных подходов и методов, а также с обработкой больших массивов разнообразных данных, неминуемы некоторые погрешности. В частности, в диссертации и автореферате замечены некоторые опечатки. К примеру, для усеченного геометрического распределения частичного вклада во второй главе используются разные аббревиатуры ЧУГР и УГРЧ. В качестве более серьезных замечаний можно указать следующие.

Предложенный в диссертации индекс R_{95}^{it} основан на распределении отношения объема осадков, выпавших в течение заданного числа k дней, к суммарному объему осадков, выпавших за некоторый период n дней, включающий те самые k дней. Это распределение выведено в диссертации через гауссову гипергеометрическую функцию, получен простой вид его плотности. В математической статистике полученное распределение хорошо известно и называется бета-распределением (кстати, этот термин в диссертации не использован). Однако если вместо указанного отношения рассмотреть отношение объема осадков, выпавших в течение заданного числа k дней, к объему осадков, выпавших в течение остальных $n-k$ дней, то такое отношение будет иметь более удобное распределение Снедекора—Фишера, весьма популярное в статистике.

Во второй главе утверждается, что при выводе распределения частичного вклада предположение о том, что суточные объемы осадков имеют гамма-распределение, не является существенным, и подобные формулы могут быть получены и при других распределениях суточных объемов (например, Вейбулла). Это утверждение нуждается в строгом обосновании или должно быть подтверждено соответствующими примерами.

Предложенные в диссертации распределения вероятностей основаны скорее на здравом смысле, нежели на строгих утверждениях. Было бы крайне желательно, чтобы такие распределения получались в результате некоторых более-менее простых предельных переходов для простых асимптотических схем (схемы суммирования случайных величин или схемы взятия максимума), что позволило бы использовать их как асимптотические аппроксимации. Подобные предельные теоремы могли бы содержать описания условий, при которых предложенные распределения *адекватно* описывают изучаемые закономерности.

Указанные замечания имеют характер рекомендаций и скорее подтверждают высказанный выше тезис о том, что работа О.Г. Золиной генерирует новые постановки задач. Они никак не могут повлиять на очень хорошее впечатление от диссертации и ее высокую оценку.

Подводя итог, следует заключить, что все основные результаты своевременно опубликованы в авторитетных научных журналах и представлены на многочисленных международных конференциях. Вклад автора в совместные публикации адекватно отражен как в диссертации, так и в автореферате. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации. Работа О.Г. Золиной «Статистическое моделирование экстремальных атмосферных осадков и их роль в региональном гидрологическом цикле», полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.30 – Метеорология, климатология, агрометеорология, а сама Ольга Геннадиевна Золина несомненно заслуживает присуждения ей искомой степени.

Официальный оппонент –
заведующий кафедрой
математической статистики
факультета вычислительной
математики и кибернетики
МГУ имени М.В. Ломоносова
д.ф.-м.н., профессор

В.Ю. Королев

22.03.2018

Согласен проф. Королев В.Ю. завершить

Ученый секретарь кафедры ВМК МГУ



Григорьев Е.А.